

生活饮用水中乙二胺四乙酸和次氨基三乙酸含量测定

Determination of ethylenediaminetetraacetic acid and nitrilotriacetic acid in water

王雪婷 郑 斌

WANG Xueting ZHENG Bin

(中检科[上海]测试技术有限公司, 上海 201206)

(CAIQ [Shanghai] Testing Technology Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

摘要:目的: 建立一种生活饮用水中乙二胺四乙酸(EDTA)和次氨基三乙酸(NTA)的高效液相色谱测定方法。方法: 样品与三氯化铁络合后, 以甲醇和 0.2 mmol/L 四丁基溴化铵—磷酸缓冲溶液(pH 2.5)为流动相, 梯度洗脱后经 Thermo-C₁₈ (4.6 mm×250 mm) 色谱柱分离, DAD 检测器检测, 外标法定量。结果: EDTA 和 NTA 在 0.1~2.0 mg/L 质量浓度范围内与色谱峰面积线性关系良好, 相关系数分别为 0.999 5, 0.999 2; 两者的检出限为 0.05 mg/L, 定量限为 0.1 mg/L, 平均加标回收率为 93.5%~111.4%, 相对标准偏差(RSD)为 3.63%~7.39%。结论: 该方法操作简便, 重复性好, 灵敏度高, 具有较好的实用性。

关键词: 生活饮用水; 乙二胺四乙酸; 次氨基三乙酸; 高效液相色谱法

Abstract: Objective: A high performance liquid chromatography method was developed to determine EDTA and NTA in water. **Methods:** The samples were derivatized with ferric chloride, used methanol and a 0.2 mmol/L tetrabutylammonium bromide phosphate buffer solution (pH 2.5) as the mobile phase, separated on a Thermo-C₁₈ (4.6 mm×250 mm) column after gradient elution, detected by HPLC with a diode array detector, and used external standard method for quantitation. **Results:** The content of EDTA and NTA showed a good linear relationship in the range of 0.1~2.0 mg/L, the correlation coefficients were 0.999 5 and 0.999 2 respectively; The limits of detection were 0.05 mg/L and limits of quantification were 0.1 mg/L; The average recoveries were 93.5%~111.4%; And the relative standard deviations (RSD) were 3.63%~7.39%. **Conclusion:** This method was convenient, repeatable, sensitive, and practical for the detection of EDTA and NTA.

Keywords: water; ethylenediaminetetraacetic acid; nitrilotriacetic acid; HPLC

乙二胺四乙酸(EDTA)是一种重要的络合剂, 被广泛应用于生活中的各方面^[1-5]。次氨基三乙酸又称氨三乙酸、氮川三乙酸, 能与各种金属离子形成络合物。乙二胺四乙酸二钠生产过程中排出的废水中含有少量的 EDTA、次氨基三乙酸(NTA)、羟基乙酸及甲酸等有机杂质, 会造成水污染^[6], 其中, EDTA 在环境中难以被生物降解, 会对黏膜、上呼吸道、眼睛及皮肤产生刺激作用^[7]; NTA 进入人体会有诱发癌症的风险, 且 NTA 及其钠盐对胎儿有致畸性^[8]。长期饮用含 EDTA、NTA 的水可能会对身体健康产生不良影响^[9]。

目前, EDTA 的检测方法主要有滴定法、气相色谱法、离子色谱法、高效液相色谱法和液相色谱—三重四极杆串联质谱法等^[10-12]。滴定法无法对两种物质进行同时测定, 很难将 EDTA 络合物与其他络合物分开, 误差大、操作繁琐, 而且还需要基准物质进行标定; 气相色谱法则需要对 NTA 进行酯化使其具备挥发性后方可进行测定, 处理过程比较复杂, 且衍生效率会影响分析的准确度, 检出限达不到要求; 采用离子色谱法分析 NTA 简单易行, 主要是由于 NTA 易溶于水, 且以离子形式存在于水溶液中, 但目前未见离子色谱法同时测定饮用水中 EDTA 和 NTA 的相关研究, 且离子色谱柱的价格昂贵; 而液相色谱—三重四极杆串联质谱法的测定成本较高。液相色谱法是目前检测食品中 EDTA 含量最多的方法, 但有关 NTA 的检测研究却较少^[13-15]。试验拟针对水中 EDTA 和 NTA 的检测方法进行研究, 以为生活用水的检测提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

水样: 市售矿泉水;

作者简介: 王雪婷, 女, 中检科(上海)测试技术有限公司工程师, 硕士。E-mail: 1083247289@qq.com

收稿日期: 2023-04-20 改回日期: 2023-12-03

液相色谱仪:U3000型,配DAD检测器,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

电子天平:BSA02S型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

离心机:H2050R型,长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司;

涡旋振荡器:MS3型,德国艾卡公司;

超声波清洗机:KQ-800DE型,昆山市超声仪器有限公司;

pH计:PB-10型,精度为0.01,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

色谱柱:Thermo-C₁₈(4.6 mm×250 mm),赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 试剂

配制溶液用水:GB/T 6682规定的二级水;

乙二胺四乙酸(EDTA)、次氨基三乙酸(NTA):上海安谱科技股份有限公司;

甲醇:色谱纯,上海安谱科技股份有限公司;

盐酸、磷酸(H₃PO₄):优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲酸:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;

四丁基溴化铵、乙酸钠、三氯化铁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 溶液配制

(1) 10 mmol/L 三氯化铁溶液:称取 0.165 5 g 三氯化铁溶于 90 mL 水中,加入 1.0 mL 盐酸,转移至 100 mL 容量瓶中,用水定容,混匀,该溶液可保存 6 个月。

(2) 0.22 mmol/L 三氯化铁溶液:吸取 220 μL 浓度为 10 mmol/L 的三氯化铁溶液于 10 mL 容量瓶中,加水定容,摇匀,现配现用。

(3) 磷酸缓冲溶液(pH 2.5):称取 6.071 g 一水合磷酸二氢钠于 100 mL 容量瓶中,加水超声溶解,定容,用少量磷酸溶液(50%)调节 pH 值至 2.5。

(4) 流动相 B:称取 3.04 g 一水合磷酸二氢钠和 0.65 g 四丁基溴化铵于 1 000 mL 容量瓶中,加 900 mL 水超声溶解,加入 1.0 mL 浓度为 10 mmol/L 的三氯化铁溶液,定容,用少量磷酸调节 pH 值至 2.5。

1.3.2 标准溶液的配制

(1) EDTA 和 NTA 标准储备液:分别称取约 10 mg 的 EDTA 和 NTA 标准品,用水溶解并定容至 10 mL 棕色容量瓶中,得质量浓度为 1 000 mg/L 的标准储备溶液,转移至储液瓶中,4 °C 贮藏备用。

(2) EDTA 和 NTA 标准溶液:分别吸取 100 μL EDTA 和 NTA 标准储备液于 10 mL 容量瓶,制备质量浓度为 10 mg/L 的混合标准中间溶液,将标准中间溶液稀

释,配制成质量浓度为 0.1,0.2,0.4,0.8,1.0,2.0 mg/L 的系列标准工作溶液。

1.3.3 试样处理 取 1.0 mL 水样于 1.5 mL 棕色进样小瓶中,加 50 μL 浓度为 0.22 mmol/L 三氯化铁溶液和 50 μL 磷酸缓冲溶液,涡旋混匀,静止放置衍生 2 h,过 0.22 μm 水相滤膜后上液相色谱测定。以空白水样品进行空白试验。

1.3.4 仪器参数及测定条件 色谱条件:色谱柱为 Thermo-C₁₈(250 mm×4.6 mm);检测器波长 258 nm;柱温 30 °C;流速 1.0 mL/min;进样量 100 μL;流动相 A 为甲醇,流动相 B 为 0.2 mmol/L 四丁基溴化铵—磷酸缓冲溶液(pH 2.5);梯度洗脱程序:0~2.00 min,90% B;2.00~5.00 min,60% B;5.00~7.00 min,20% B;7.00~10.10 min,90% B;10.10~12.00 min,90% B。

1.3.5 方法学考察 分别取质量浓度为 0.1,0.2,0.4,0.8,1.0,2.0 mg/L 的系列标准工作溶液 1.0 mL,加入 50 μL 浓度为 0.22 mmol/L 的氯化铁溶液和 50 μL 磷酸缓冲溶液,涡旋混匀,静止放置 2 h 后上液相色谱测定。采用外标法定量,以待测物化合物浓度为横坐标,待测物化合物峰面积为纵坐标,绘制标准曲线和计算线性方程,考察 EDTA 和 NTA 的线性关系。EDTA 和 NTA 的加标水平均为 0.1,0.4,1.0 mg/L,每个水平重复 6 次,对方法的回收率、重复性和精密度进行考察。

1.3.6 数据分析 通过对方法学的考察,对生活饮用水中 EDTA 和 NTA 的含量进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 衍生试剂的选择

Wang 等^[16]研究发现,EDTA 与金属离子形成螯合物的条件稳定常数顺序为 Mo⁶⁺>Bi³⁺>Fe³⁺>Cu²⁺>Zn²⁺>Al³⁺>Fe²⁺>Mn²⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺,而 NTA 与金属离子形成螯合物的条件稳定常数顺序为 Fe³⁺>Hg²⁺>Cu²⁺>Al³⁺>Zn²⁺>Co²⁺>Mn²⁺>Ca²⁺>Mg²⁺,相比之下,Fe³⁺与 EDTA、NTA 更容易形成络合物;魏峰等^[17]研究发现,EDTA、NTA 可以与多种金属离子形成稳定的络合物,所形成的络合物可以发生配位场跃迁,紫外吸收强度增大且吸收范围发生红移,因而可以提高检测的灵敏度,达到检测所需检出限要求,与其他金属离子相比,Fe³⁺形成的螯合物比较稳定,与 GB 5009.287—2016 中使用的衍生试剂一致。因此,试验选择三氯化铁与 EDTA、NTA 络合。由于高浓度的三氯化铁溶液络合后产生的杂峰响应高,经试验优化后选择 0.22 mmol/L 三氯化铁溶液作为衍生试剂。为减小溶剂效应,在加入衍生试剂时加入流动相中使用的磷酸盐缓冲液,可以提升检测物质的灵敏度。

2.2 仪器参数与测定条件

2.2.1 色谱柱的选择 选用 Athena HILIC、Thermo-C₁₈

两种色谱柱进行测试。由图 1 可知,Athena HILIC 得到的色谱峰型较差,而 Thermo-C₁₈ 对 EDTA 和 NTA 均有较好的分离效果,且色谱峰型良好。因此,选择 Thermo-C₁₈ 作为分离色谱柱。

2.2.2 流动相优化 试验发现,未使用离子对试剂,只采用甲醇和水作为流动相时,通过液相色谱仪分析得到的峰形较差且响应较低,可能是目标物在该条件下的稳定性差,与色谱柱填料间的作用力加大而难以洗脱,因此无法对 EDTA、NTA 进行直接检测。GB 5009.278—2016 中使用的流动相为四丁基溴化铵—乙酸钠溶液($V_{\text{四丁基溴化铵}}:V_{\text{乙酸钠}}$ 为 85:15),等度洗脱分离,适用 EDTA 一种物质的分离。而 NTA 是生产 EDTA 过程中的杂质,二者性质相似,更不易分离。故试验采用梯度程序进行洗脱分离,由于高浓度四丁基溴化铵溶液会导致液相色谱系统污染几率增加且不易清洗,因此,选择四丁

基溴化铵—磷酸缓冲溶液浓度为 0.2 mmol/L,并用磷酸调节 pH 值至 2.5,此条件下,两种目标物的分离度较好。

2.2.3 波长的选择 EDTA 和 NTA 在波长为 210 nm 以上的紫外吸收能力较弱,不能满足低含量检测的需要。由图 2 可知,EDTA 和 NTA 络合物的最大吸收波长分别为 260,248 nm,综合考虑选取 $\lambda=258\text{ nm}$ 作为二者的检测波长,此时均能得到理想的色谱图。

2.2.4 EDTA 和 NTA 含量

(1) 线性方程:试验表明,EDTA 和 NTA 在 0.1~2.0 mg/L 的质量浓度范围内线性良好,线性方程分别为 $Y=2.658\ 5X-0.057$, $Y=2.664X-0.183$,相关系数分别为 0.999 5,0.999 2,符合 GB/T 27404—2008 中对相关系数的要求。

(2) 回收率、重复性和精密度:由表 1 可知,水样中 NTA 的相对标准偏差为 3.63%~5.71%,平均回收率为 97.5%~109.2%;EDTA 的相对标准偏差为 4.79%~7.39%,平均回收率为 99.4%~111.4%,两种物质的平行测定绝对差值未超过平均值的 10%,说明试验方法具有良好的准确度和精密度,可满足 GB/T 27404—2008 中对化合物回收率、重复性及精密度试验的要求。

空白水样和加标水样的液相色谱如图 3 所示。该方法前处理加入衍生试剂,为避免试剂引入目标物,确保检测结果的准确性,同时检测空白水样。空白水样中的含量较低,定量后 EDTA 和 NTA 含量<0.001 mg/L,可忽略不计。当添加水平为 1.0 mg/L 时,EDTA 和 NTA 依

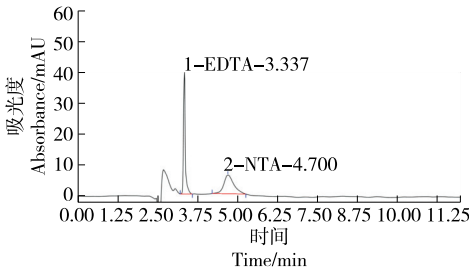
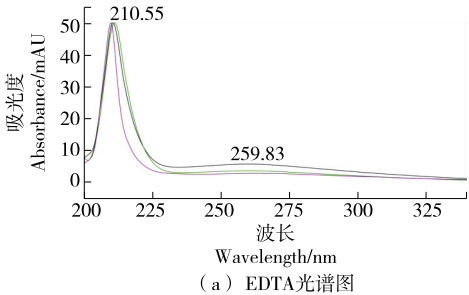
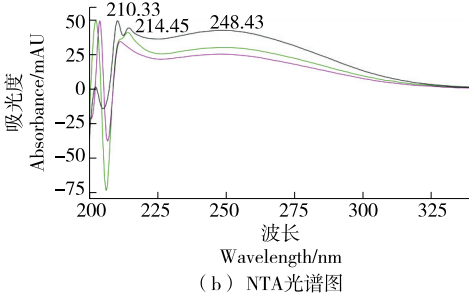


图 1 EDTA 和 NTA 的液相色谱分离图

Figure 1 Liquid chromatography separation diagram of EDTA and NTA



(a) EDTA 光谱图



(b) NTA 光谱图

图 2 EDTA 和 NTA 光谱图

Figure 2 The spectrogram of EDTA and NTA

表 1 EDTA 和 NTA 的回收率及精密度

Table 1 Recovery rate and precision of EDTA and NTA

项目	添加浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	回收率/%						平均回收 率/%	RSD/ %
		1	2	3	4	5	6		
NTA	0.1	108.5	109.1	99.5	108.3	115.1	114.6	109.2	5.17
	0.4	100.8	88.6	87.7	92.3	98.8	92.5	93.5	5.71
	1.0	92.1	96.1	99.4	102.1	95.9	99.7	97.5	3.63
EDTA	0.1	112.2	119.3	113.8	103.8	114.1	105.2	111.4	5.27
	0.4	102.5	94.6	102.3	106.4	103.6	86.7	99.4	7.39
	1.0	100.9	93.8	95.3	103.1	103.8	105.6	100.4	4.79

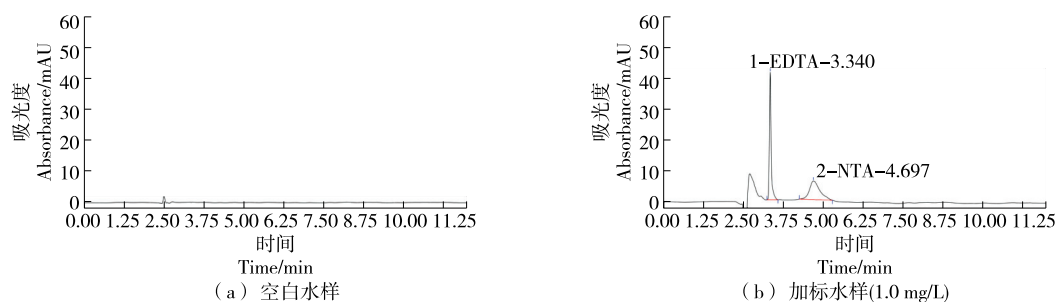


图3 空白水样和加标水样的液相色谱图

Figure 3 Liquid chromatography of blank and add standard water sample

次出峰,峰形完整,分离效果较好,定量结果准确。

(3) 检出限和定量限:通过不断稀释标准样品溶液,得到次氨基三乙酸、乙二胺四乙酸的检出限为 0.05 mg/L,定量限为 0.1 mg/L,信噪比均 >10 ,满足定量要求。

3 结论

研究建立了一种生活饮用水中乙二胺四乙酸和次氨基三乙酸的高效液相色谱测定方法。结果表明,乙二胺四乙酸和次氨基三乙酸在 0.1~2.0 mg/L 的质量浓度范围内与色谱峰面积线性关系良好,相关系数分别为 0.999 5, 0.999 2;两者的检出限为 0.05 mg/L,定量限为 0.1 mg/L,加标回收率 $>90\%$ 。该方法具有操作简便、重复性好、灵敏度高的特点。后续可以增加对生活废水中乙二胺四乙酸和次氨基三乙酸含量的检测;亦可尝试使用质谱联用仪进行试验以进一步提高检测灵敏度。

参考文献

- [1] 孟令丽. 乙二胺四乙酸二钠在食品检测中研究进展[J]. 广东蚕业, 2019, 53(12): 43, 47.
MENG L L. Research progress of disodium ethylenediaminetetraacetic acid in food detection [J]. Guangdong Sericulture, 2019, 53(12): 43, 47.
- [2] 周至均, 王丽兰, 罗红梅, 等. 液相色谱法测定半成品泡菜中乙二胺四乙酸二钠残留量[J]. 食品安全导刊, 2022(25): 97-99.
ZHOU Z J, WANG L L, LUO H M, et al. Determination of ethylenediaminetetraacetic acid disodium residue in semi-finished pickles by liquid chromatography[J]. China Food Safety Magazine, 2022(25): 97-99.
- [3] 张国丽, 武志红, 邓悦, 等. 乙二胺四乙酸(EDTA)改性硫酸铝无碱液体速凝剂的制备及稳定性[J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40(3): 466-472, 536.
ZHANG G L, WU Z H, DENG Y, et al. Preparation and stable property of EDTA modified aluminium sulfate alkali-free liquid accelerator[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2022, 40(3): 466-472, 536.
- [4] 温庆辉, 黎凤英, 李燕嫦, 等. 不同浓度乙二胺四乙酸对多重耐药产 ESBLs 大肠埃希菌及肺炎克雷伯菌的部分抗菌药物敏感性的恢复作用[J]. 国际检验医学杂志, 2021, 42(S2): 60-63.

- WEN Q H, LI F Y, LI Y E, et al. Recovery effect of different concentrations of ethylenediaminetetraacetic acid on some antimicrobial susceptibility of multi drug resistant ESBLs producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*[J]. International Journal of Laboratory Laboratory Medicine, 2021, 42(S2): 60-63.
- [5] 郭会, 李红路, 李玉顺, 等. 乙二胺四乙酸高盐废水冷冻处理研究[J]. 精细与专用化学品, 2019, 27(12): 32-34.
GUO H, LI H L, LI Y S, et al. Study on freezing treatment of ethylenediaminetetraacetic acid high salt wastewater[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2019, 27(12): 32-34.
- [6] 高晓玲, 吴惠玲, 朱江贤. 快速纠正乙二胺四乙酸依赖性假性血小板减少的临床新方法[J]. 中国社区医师, 2019, 35(16): 104-105.
GAO X L, WU H L, ZHU J X. A new clinical method for rapid correction of ethylenediaminetetraacetic acid dependent pseudothrombocytopenia[J]. Chinese Community Doctors, 2019, 35(16): 104-105.
- [7] 夏泽敏, 王继才, 谭建华, 等. 金属络合衍生-高效液相色谱法测定洗涤用品中乙二胺四乙酸和氮川三乙酸[J]. 日用化学工业, 2019, 49(4): 269-274.
XIA Z M, WANG J C, TAN J H, et al. Determination of ethylenediaminetetraacetic acid and nitrilotriacetic acid in detergent products using metal-complexing derivatization and HPLC[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2019, 49(4): 269-274.
- [8] 李盛龙, 赵丹. 乙二胺四乙酸盐依赖性假性血小板减少症研究进展[J]. 基层医学论坛, 2012, 16(19): 2 551-2 553.
LI S L, ZHAO D. The research development of EDTA-dependent-pseudothrombocytopenia[J]. The Medical Forum, 2012, 16(19): 2 551-2 553.
- [9] 陆建平, 李郁, 王丽, 等. 乙二胺四乙酸对多级废水处理池污泥中铅的萃取研究[J]. 化工技术与开发, 2009, 38(12): 45-47.
LU J P, LI Y, WANG L, et al. Study on extraction of Pb from sludge in different wastewater pools by EDTA [J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2009, 38(12): 45-47.
- [10] 孙彦敏, 潘玉宁, 林慧, 等. 乙二胺四乙酸盐在食品领域中的应用研究进展[J]. 粮食流通技术, 2019(17): 1-5.
SUN Y M, PAN Y N, LIN H, et al. Research progress of EDTA in the field of food[J]. Grain Distribution Technology, 2019(17): 1-5.

(下转第 232 页)

- phenolic acids and flavonoids in different parts of mung bean germination and their antioxidant capacity[J]. Chemical Industry Daily, 2015, 45(7): 393-396.
- [42] 张小慧, 李丽, 董银卯, 等. 赤小豆萌芽不同部位总酚酸和总黄酮含量分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2014, 35(10): 90-92.
- ZHANG X H, LI L, DONG Y Z, et al. Study on the contents of Total phenolic acid and total flavonoids in different Parts of Chixiao Bean sprout and their antioxidant activities [J]. Food Industry, 2014, 35(10): 90-92.
- [43] VALMOR Z I D A V. Effects of storage period and temperature on the technological properties, starch digestibility, and phenolic compounds of mung beans (*Vigna radiata* L.)[J]. Journal of Stored Products Research, 2020, 89: 1-11.
- [44] 王雪, 肖萍, 王步江, 等. HPLC 法测定低温烘焙绿豆中牡荆苷与异牡荆苷的含量及变化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(10): 152-157.
- WANG X, XIAO P, WANG B J, et al. Determination of vitexin and isovitexin in low-temperature roasted mung bean by HPLC [J]. Food Research and Development, 2019, 40(10): 152-157.
- [45] 张静祎, 翟爱华, 王佳男. 煮制加工对不同绿豆中黄酮含量的影响及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(3): 155-162.
- ZHANG J W, ZHAI A H, WANG J N. Effects of cooking and processing on flavonoid content and antioxidant activity in different mung beans[J]. Chinese Food Additives, 2020, 31(3): 155-162.
- [46] 张桂芳, 于金池, 王颖, 等. 煮制加工对绿豆中黄酮含量的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(4): 38-41.
- ZHANG G F, YU J C, WANG Y, et al. Effect of cooking and processing on flavonoid content in mung bean[J]. Food Research and Development, 2017, 38(4): 38-41.
- [47] HAN S, LIU H, HAN Y, et al. Effects of calcium treatment on malate metabolism and γ -aminobutyric acid (GABA) pathway in postharvest apple fruit[J]. Food Chemistry, 2021, 334: 127479.
- [48] 石磊, 刘超, 周柏玲, 等. 萌发条件对绿豆芽中 γ -氨基丁酸含量的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(3): 50-53.
- SHI L, LIU C, ZHOU B L, et al. Effects of germination conditions on gamma-aminobutyric acid content in mung bean sprouts [J]. Food and Oil, 2019, 32(3): 50-53.
- [49] 姜宇婷. 绿豆发芽过程中组分及营养变化研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(14): 209-214.
- JIANG Y T. Research progress of components and nutritional changes of mung bean during germination[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(14): 209-214.
- [50] 马玉玲, 罗可大, 佟立涛, 等. 绿豆发芽富集 GABA 及产品开发研究进展[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(5): 119-127.
- MA Y L, LUO D K, TONG L T, et al. Research progress on GABA enrichment in mung bean germination and product development[J]. Journal of Cereals and Oils, 2018, 33(5): 119-127.
- [51] MA Y L, WANG A X, YANG M, et al. Influences of cooking and storage on γ -aminobutyric acid (GABA) content and distribution in mung bean and its noodle products[J]. LWT, 2022, 154: 112783.
- [52] 谷春梅, 候春宇, 程安玮. 蒸汽爆破对红豆和绿豆多酚含量及抗氧化活性的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(7): 1 574-1 582.
- GU C M, HOU C Y, CHENG A W. Effects of steam blasting on polyphenol content and antioxidant activity of red bean and mung bean[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2021, 35(7): 1 574-1 582.
- [53] GONG L, HUANG L, ZHANG Y. Effect of steam explosion treatment on barley bran phenolic compounds and antioxidant capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(29): 7 177-7 184.
- EDTA, and NTA by UV-visible spectrometry and HPLC [J]. Analytical & Bioanalytical Chemistry, 2005, 382(7): 1 601-1 609.
- [15] 程嘉雯. 复杂基质中氮川三乙酸的分离富集和色谱分析研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2022.
- CHENG J W. The separation and preconcentration of nitrotriactic acid for chromatographic analysis in complex matrix[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022.
- [16] WANG X M, YANG W T, WANG K, et al. Determination of EDTA in Chinese medicine injection by high performance liquid chromatography [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2012, 22(5): 1 000-1 002.
- [17] 魏峰, 霍军生, 于波, 等. 营养强化剂乙二胺四乙酸铁钠中氨基三乙酸的检测方法研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 321-323.
- WEI F, HUO J S, YU B, et al. Determination of nitrilotriacetic acid in sodium iron (III) ethylenediaminetetraacetate for nutritional fortifier[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(4): 321-323.

(上接第 77 页)

- [11] 乌吉木. 高效液相色谱法测定番茄酱中乙二胺四乙酸二钠[J]. 粮食流通技术, 2021(24): 208-212.
- WU J M. Determination of EDTA in tomato sauce by HPLC[J]. Grain Distribution Technology, 2021(24): 208-212.
- [12] 杨长志, 韩广源, 姜冰, 等. UPLC-MS-MS 法测定八宝粥罐头中乙二胺四乙酸二钠残留量[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 208-212.
- YANG C Z, HAN G Y, JIANG B, et al. Determination of ethylenediaminetetraacetic acid disodium residues in canned eight-ingredient porridge by UPLC-MS-MS[J]. Food Science, 2015, 36(4): 208-212.
- [13] 许迪明, 宓捷波, 湛嘉. IC 法测定食品添加剂 EDTA 二钠中氨基三乙酸[J]. 中国食品添加剂, 2016(11): 208-212.
- XU D M, MI J B, ZHAN J. Determination of nitrilotriacetic acid in food additive disodium ethylenediaminetetraacetate by ion chromatography[J]. China Food Additives, 2016(11): 208-212.
- [14] LAINE P, MATILAINEN R. Simultaneous determination of DTPA,